动 物 学 研 究 2013，Oct. 34(5): 493−498 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI:10.11813/j.issn.0254-5853.2013.5.0493

兴凯湖大银鱼食物组成与食性转化

唐富江[1,2,3]，刘 伟[2]，王继隆[2]，李 哲[2]，谢松光[1,4,*]

1. 中国科学院水生生物研究所，中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室，武汉 430072
2. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所，哈尔滨 150070
3. 中国科学院大学，北京 100039
4. 中国科学院水生生物研究所 淮安研究中心，苏北湖群渔业可持续发展与水环境保护重点实验室，淮安 223002

摘要：该文于 2010 年 6 月—2011 年 1 月逐月分析中俄界湖兴凯湖外来种大银鱼食性，结果发现，大银鱼主要摄食枝角类、桡足类、虾类和鱼类。6 月份大银鱼体长＜60 mm，以枝角类和桡足类为食，7 月份体长＞60 mm 群组、8 月份体长＞80 mm 群组、9 月份体长＞100 mm 群组与 10 月及之后体长＞120 mm 群组等的食谱中均出现鱼类，且优势种类为大银鱼和鲦属鱼类。该摄食鱼类的大银鱼最小体长随季节而增加的现象，与饵料鱼类生长导致的食物资源可得性变动密切相关。

关键词：兴凯湖，大银鱼；食性分化；摄食同类
中图分类号：Q959.4 **文献标志码**：A **文章编号**：0254-5853-(2013)05-0493-06

Diet composition and transition of clearhead icefish（*Protosalanx hyalocranius*）in Lake Xingkai

Fu-Jiang TANG[1,2,3], Wei LIU[2], Ji-Long WANG[2], Zhe LI[2], Song-Guang XIE[1,4,*]

1. *Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences*, *Institute of Hydrobiology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Wuhan* 430072, *China*
2. *Heilongjiang River Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin* 150070, *China*
3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*
4. *Key Laboratory of Sustainable Fisheries and Environmental Protection for Lake of Northern Jiangsu*, *Huai'an Research Center*, *Institute of Hydrobiology*, *Chinese Academy of Sciences, Huai'an* 223002, *China*

Abstract: Diet compositions of alien clearhead icefish（*Protosalanx hyalocranius*）in Lake Xingkai were investigated monthly from June 2010 through January 2011. *Protosalanx hyalocranius* preyed mainly on cladoceran, copepoda, shrimp, and larvae or juvenile fish. In June, *P. Hyalocranius* were smaller than 60 mm standard length（SL）, and their diets were composed of zooplankton only. In July, fish began to appear infrequently in the diet of *P. Hyalocranius* larger than 60 mm SL, and by August fish was occurring in the diets of *P. hyalocranius* larger than 80 mm, 100 mm in September, and 120 mm in October and thereafter, respectively. The increase in the minimum SL of *P. hyalocranius* preying on fish within a given season reflects changes in resource availability, largely attributed to the corresponding increase in prey fish size as seasons progress. *Protosalanx hyalocranius* and *Hemiculter* sp. were the dominant prey fish in the diets of *P. hyalocranius*.

Keywords: Lake Xingkai; *Protosalanx hyalocranius*; Diet transition; Cannibalism

大银鱼（*Protosalanx hyalocranius*）是东亚地区特有的一年生小型经济鱼类，主要分布于我国钱塘江河口、长江口、长江下游湖泊及黄渤海河口等（Xie & Xie，1997；Wang et al，2002）。自上世纪 90 年代以来，大银鱼开始在我国北方水体广泛移植（Shen，1990；Hu，1995；Li et al，2002），并导致了一些水体中土著鱼类资源量的急剧下降（Tang et al，2013）。大银鱼于 2000 年被移植到与中俄界湖兴凯湖（N44°30'~45°30'，E132°00'~132°50'）仅一岗之隔的小兴凯湖，之后因泄洪进入兴凯湖，并在

收稿日期：2013-03-29；接受日期：2013-06-04
基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（31201993）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项项目（201014）
*通信作者(Corresponding author)，E-mail: xiesg@ihb.ac.cn
第一作者简介：唐富江，男，助理研究员，博士；E-mail: rivery2008@163.com

兴凯湖建立种群，2010 年，占兴凯湖捕捞鱼产量的 36.4%（Tang et al，2011），其对兴凯湖生态系统的可能影响引起了中俄双方的共同关注（Svirsky & Barabanshchikov，2010；Tang et al，2011）。

食物竞争和捕食是外来鱼类影响土著鱼类的重要方式，对外来鱼类的食性研究是评价其对土著鱼类和生态系统影响的基础（Pan et al, 2007）。大银鱼早期阶段以浮游动物为食，达到一定体长之后开始摄食鱼、虾等，且由于不同移植水体气候条件和饵料基础的显著差异，其食物组成和转化阶段常存在差异（Zhang et al，1981；Zhu，1985；Rong & Yue，1997；Xie & Xie，1997；Tang et al，2002）。本研究探讨兴凯湖大银鱼食性周年变化及其与个体大小的关系，为评价其对土著鱼类的影响提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

大银鱼采集自位于我国东北边陲的中俄界湖兴凯湖当壁镇湖区（N45°15′8.62″~45°15′49.12″，E132°01′7.73″~132°02′35.22″），采样时间为 2010 年 6 月—2011 年 1 月的各月月初。其中，2010 年 6 月至 11 月采用围网（长 200 m、宽 8 m、网目 2 mm×2 mm）采样，2010 年 12 月和 2011 年 1 月采用冰下刺网（长 30 m、高 1 m，网眼两对应节点间距离分别为 1.0、1.5、2.0、2.3 cm 各一片相连）采样。样品固定于 10%福尔马林溶液中带回实验室分析。

1.2 样品分析

将福尔马林溶液固定的大银鱼样品置于 75%的乙醇中保存 24 h 后进行标准体长测量（1 mm），并按体长范围将样品分为不同体长组进行食性分析。各个月份样品中的各体长组个体数≤30。

食性分析时先取出肠道，切取肠道前半部分，剖开，取出食物置于载玻片上，在解剖镜（Motic SMZ-168）和显微镜（Carlzeiss microimaging Gmbh 37081）下鉴定食物种类并计数。食物中枝角类通过种属生物量经验平均值计算质量（Zhang & He，1991）；桡足类通过测定体长，采用体长/体重经验公式计算质量（Zhang & He，1991）；鱼类和虾，则直接进行称重；无法辨认食物所占比重很小，在本研究中忽略不计。

1.3 数据分析

计算各体长组的食物重要性指标，包括出现频率（*F*%）、数量百分比（*N*%）、质量百分比（*W*%）和相对重要性指数（*IRI*）、相对重要性指数百分比（*IRI*%）及出现频率百分比（*FO*%）（Hyslop, 1980; Liao et al, 2001）。出现频率（*F*%）=（某类饵料生物在肠道内出现次数/所有食物在肠道内出现次数）×100；数量百分比（*N*%）=（某类饵料生物的个数/肠含物饵料生物总个数）×100；质量百分比（*W*%）=（某类饵料生物的实际质量/肠道中所有饵料总质量）×100；相对重要性指数（*IRI*）=*F*%×（*W*%+*N*%）；相对重要性指数百分比（*IRI*%）=（*IRI*/Σ*IRI*）×100；出现频率百分比（*FO*%）=（*F*%/Σ*F*%）×100。

2 结 果

2.1 大银鱼体长分组

所采集大银鱼的标准体长范围为 20~195 mm，共划分为 11 组体长，即 20~29、30~39、40~49、50~59、60~69、70~79、80~89、90~99、100~119、120~139 及 140~195 mm。各月份大银鱼累计共分为 36 个体长组（表 1）。

表 1 各月份兴凯湖大银鱼体长组构成和食性分析个体数

Table 1 Size group compositions and number of fish analyzed in diet of *Protosalanx hyalocranius* sampled from June 2010 to January 2011 in Lake Xingkai

体长组（mm） Size class	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	1 月 January
20–29	35（5）	—	—	—	—	—	—	—
30–39	39（2）	—	—	—	—	—	—	—
40–49	31（3）	31（3）	—	—	—	—	—	—
50–59	—	30（6）	—	—	—	—	—	—
60–69	—	31（1）	30（3）	—	—	—	—	—
70–79	—	29（6）	33（2）	32（3）	—	—	—	—
80–89	—	—	39（4）	31（2）	29（4）	30（5）	31（10）	30（13）
90–99	—	—	26（4）	33（1）	39（1）	30（4）	36（11）	32（13）
100–119	—	—	—	32（9）	31（4）	39（9）	30（7）	34（12）
120–139	—	—	—	25（10）	40（9）	35（13）	33（13）	34（14）
140–195	—	—	—	—	34（12）	33（9）	36（12）	35（15）

括号内示空肠个体数（Numbers of fish with empty intestines are given in parentheses）；“—”表示未测或无此项（“—” indicates determination is absent）。

2.2　食物种类组成

共鉴定食物 22 种属，其中，鱼类 6 种，虾类 1 种，水生昆虫类 1 属，枝角类 4 种，桡足类 10 种。由于桡足类和𩷶属鱼类经消化后不能鉴定到种，在定量分析中未分种进行统计（表 2）。

枝角类和桡足类的出现频率和数量百分比最高，枝角类中以长额象鼻溞（*Bosmina longirostris*）数量最大，大银鱼、𩷶属鱼类及鱼类和秀丽白虾（*Exopalaemon modestus*）的相对重要性指数较高（表 2）。

表 2　兴凯湖大银鱼的食物组成及重要性指标

Table 2　Diet composition and occurrence frequency (*F%*), numerical percentage (*N%*), weight percentage (*W%*) and index of relative importance (*IRI*) for each food item of *Protosalanx hyalocranius* in Lake Xingkai

食物种类 Prey item	*F%*	*N%*	*W%*	*IRI*
甲壳类 Crustacea	—	—	—	—
枝角类 Cladoceran	72.23	56.54	0.07	4088.94
长额象鼻溞 *Bosmina longirostris*	41.45	33.72	0.03	1398.52
长肢秀体溞 *Diaphanosoma leuchtenbergianum*	25.87	12.87	0.02	333.46
透明溞 *Daphnia*（*Daphnia*）*hyalina*	31.17	9.04	0.03	282.71
透明薄皮溞 *Leptodora kindti*	0.89	0.03	0.00	0.03
桡足类 Copepoda	80.32	40.47	0.11	3260.19
广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti*	—	—	—	—
英勇剑水蚤 *Cyclops strenuus*	—	—	—	—
兴凯侧突水蚤 *Episehura chankensis*	—	—	—	—
短尾近剑水蚤 *Tropocyclop sprasinus breviramus*	—	—	—	—
大尾真剑水蚤 *Eucyclops macruroides*	—	—	—	—
锯缘真剑水蚤 *E. serrulatus*	—	—	—	—
长尾小剑水蚤 *Microcyclops longiramus*	—	—	—	—
新月北镖水蚤 *Arctodiaptomus stewartianus*	—	—	—	—
粗壮温剑水蚤 *Thermocyclops dybowskii*	—	—	—	—
虫宿温剑蚤 *T. vermifer*	—	—	—	—
虾类 Decapoda	11.06	1.15	4.62	63.82
秀丽白虾 *Exopalaemon modestus*	11.06	1.15	4.62	63.82
昆虫类 Insecta	0.22	0.03	0.05	0.02
蜉蝣幼虫 *Ephemera* sp.	0.22	0.03	0.05	0.02
鱼类 fishes	20.45	1.80	95.15	1982.63
大银鱼 *Protosalanx hyalocranius*	12.98	1.17	63.41	838.25
𩷶*Hemiculter leucisculus* 兴凯𩷶 *H. lucidus lucidus*	5.79	0.50	24.63	145.44
翘嘴鲌 *Culter ilishaeformis*	0.12	0.01	0.43	0.05
兴凯银鮈 *Squalidus chankaensis*	1.44	0.12	6.29	9.23
黑龙江泥鳅 *Misgurnus mohoity*	0.12	0.01	0.39	0.05

“—”表示未测或无此项（“—” indicates determination is absent）。

2.3　大银鱼种群食性分化

6 月份大银鱼体长均＜50 mm，仅摄食枝角类和桡足类。7 月份，＞60 mm 个体组中已有部分开始摄食鱼、虾类，其中，鱼类主要为大银鱼和𩷶属，但出现频率很低，相对重要性指数百分比≤5%。8 月份，＜80 mm 个体的食物组成主要为枝角类及桡足类，虾类质量百分比≥85%，但出现频率均＜6%，相对重要性指数百分比也较低（＜10%）；＞80 mm 各组食物中均有鱼类，且鱼类出现频率百分比随体长增加而增大。9 月份，＜100 mm 个体的食物组成为枝角类、桡足类和虾类，虾类的相对重要性指数百分比较低（≤15.13%），＞100 mm 群组食物中均包含鱼类。其中，＞120 mm 体长组的鱼类（大银鱼～50%）出现频率百分比最高（72.22%），相对重要性指数百分比为 86.7%（大银鱼 75.25%）。10、11、12 和次年 1 月，＞120 mm 体长组均以鱼类（大银鱼＞45%）为主要食物，鱼类出现频率百分比＞70%，相对重要性指数百分比＞92%（大银鱼＞

63%），体长＜120 mm 的各体长组以枝角类、桡足类和虾类为主要食物。 1 月 100～119 mm 群组中有一个个体（体长 115 mm）肠含物中有鱼类。

各月的食鱼群组中，大银鱼是最重要的饵料鱼类，相对重要性指数均最高，鲦属鱼类次之，相对重要性指数最高值出现在 10 月，在 140～195 mm 群组中其所占百分比达 29.68%。此外，1 月大银鱼食物中未发现枝角类（图 1）。

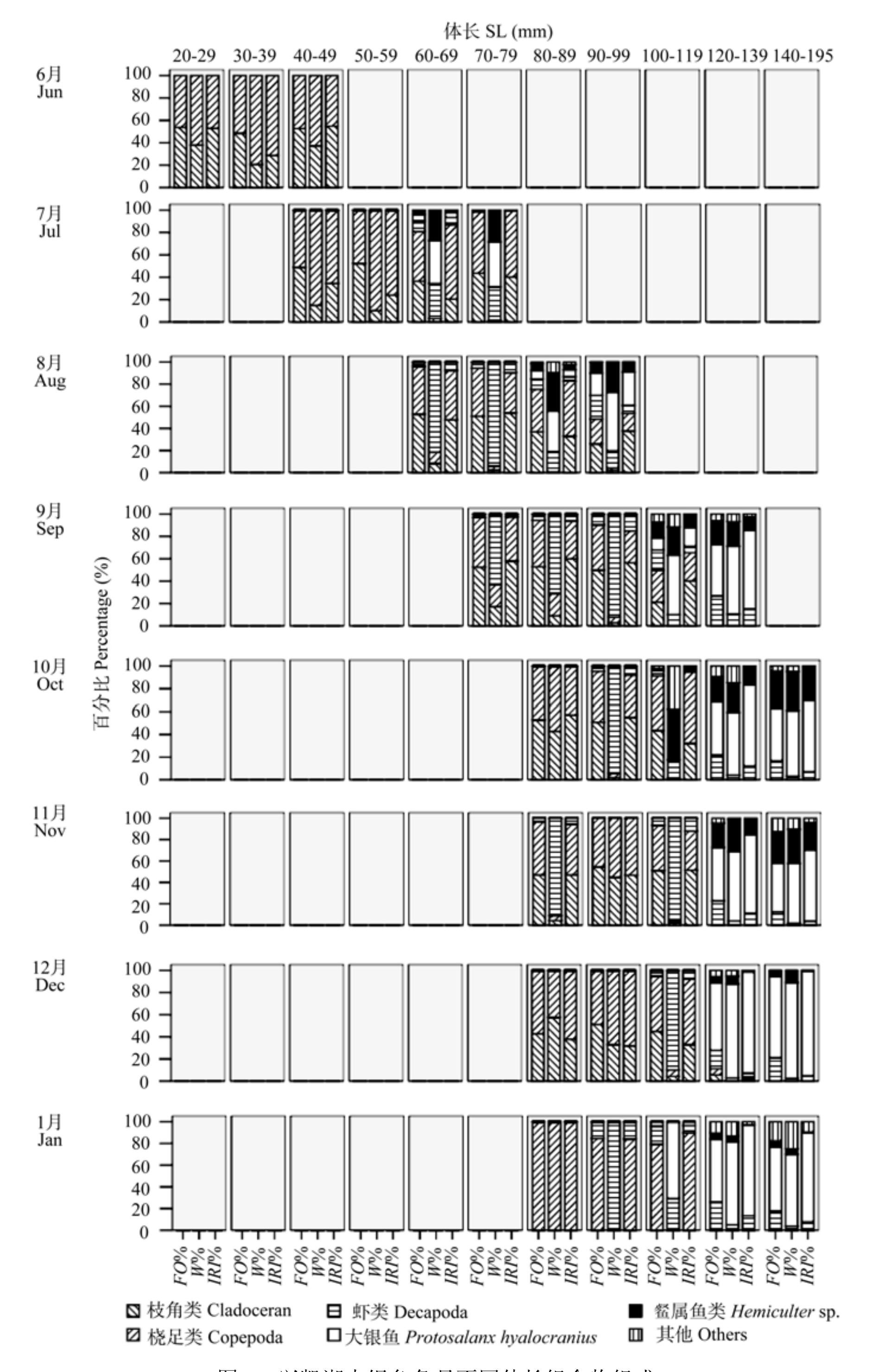


图 1 兴凯湖大银鱼各月不同体长组食物组成

Figure 1 Diet composition by month and size groups of *Protosalanx hyalocranius* in Lake Xingkai

1：出现频率百分比（*FO*%）；2：重量百分比（*W*%）；3：:相对重要性指数百分比（*IRI*%）。

"1" indicates occurrence frequency percentage（*FO*%）; "2" indicates weight percentage（*W*%）; "3" indicates percent index of relative importance（*IRI*%）.

3 讨 论

兴凯湖大银鱼食物主要包括枝角类、桡足类、虾类和鱼类，且其对鱼类的摄食随个体大小和月份而不同，7 月份体长＞60 mm、8 月份体长＞80mm，9 月份＞100mm 以及之后＞120 mm 的组群开始摄食鱼类。由图 1 可见，各月大银鱼最小体长组和摄食鱼类的大银鱼最小体长组呈同样的变化趋势，因为小群组大银鱼是大群组大银鱼的主要饵料鱼类，因此，摄食鱼类的大银鱼最小体长逐月增大可能反映饵料鱼类资源的可得性变化。本研究发现兴凯湖大银鱼＞60 mm 个体开始摄食鱼类，与其他水体中大银鱼转食时的个体大小存在一定差异。太湖大银鱼体长＞50 mm 时开始摄食鱼类（Zhu，1985），洪泽湖大银鱼体长为 45～70 mm 时开始摄食鱼类（Zhang et al，1981）。该差异可能与捕食者（大银鱼）—被食者（饵料鱼类）体长关系的不同有关，也可能与本次调查的频率（每月一次）有关，因此，需要进行时间间隔更短的调查以进一步了解大银鱼和某些饵料鱼类的特定体长关系。

大银鱼的鱼类食物中依重要性排序为大银鱼、䱗属和兴凯银鮈，偶见翘嘴鲌和黑龙江泥鳅。鱼类食物选择由食物的适口性和可获得性共同决定。Wainwright & Richard（1995）的鱼类最适捕食理论认为，当食物横截面直径为捕食者口裂直径的 40%～70%时，捕食者将获得最大净能量收益。大银鱼、䱗属、鲤、兴凯鲌（*Culter dabryi shinkainensis*）和鲫是兴凯湖产量最高的 5 种鱼类（Tang et al, 2011），大银鱼作为食物在各月兼具可得性和适口性。䱗属在 7—11 月食物中的贡献率也较高，其适口性可能仅次于大银鱼。兴凯鲌虽然在兴凯湖中的资源量较大，且分布水域与大银鱼重叠，但可能因其体高较大，嘴翘鲌背驮而非修长体型而不适口，所以不是大银鱼的主要食物。鲤、鲫仔稚鱼可能与大银鱼栖息水域不同而导致资源可得性差。12 月大银鱼食物中可见泥鳅，间接说明此时大银鱼在底层活动，可能与冬季湖底层水温最高或在湖底产卵有关。

本文对兴凯湖大银鱼的食性分析表明，大银鱼种群中仅相对较大的个体转食鱼类，而相对较小的个体终生以浮游动物为食。这种食性的可塑性特点，为大银鱼在兴凯湖中完成生活史，并成功建群提供了食物基础。食物竞争和捕食作用是外来鱼类影响土著鱼类和生态系统的主要方式（Pan et al，2007）。兴凯湖大银鱼的鱼类饵料主要为大银鱼和䱗，其通过直接捕食作用对兴凯湖土著经济鱼类的影响较小。兴凯湖大银鱼移植种群中虽有部分较大的个体转食鱼类，但浮游动物是维持该种群的主要饵料基础。太湖新银鱼移植种群的摄食导致水体浮游动物资源短缺，使浮游动物食性土著鱼类（䱗）生长减慢、繁殖投入减少（Wang et al, 2013）。兴凯湖大银鱼种群的爆发可能导致浮游动物资源短缺，并影响浮游动物食性鱼类的生长和繁殖，以及其他鱼类的早期生长和存活。有关大银鱼对兴凯湖生态系统和土著鱼类的影响还有待进一步研究。

参考文献：

Hu CL. 1995. Status of icefish introduction and transplanting in Chinese middle and large waters and the advices for further developing. *Reservoir Fisheries,* （3）: 3-5. [胡传林. 1995. 我国大中型水域银鱼引种移植的现状及今后发展意见. 水利渔业, （3）: 3-5.]

Hyslop EJ. 1980. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology,* **17**（4）: 411-429.

Li SW, Wang DW, Xu YF, Luo ML, Jiang GM. 2002. Status of icefish transplanting and stocking in China and the developing countermeasures. *Journal of Ocean University of Zhanjiang,* **22**（4）: 78-82. [李生武, 王冬武, 徐永福, 罗梦良, 蒋国民. 2002. 我国银鱼移植增殖现状及发展对策. 湛江海洋大学学报, **22**（4）: 78-82.]

Liao HS, Pierce CL, Larscheid JG. 2001. Empirical assessment of indices of prey importance in the diets of predacious fish. *Transactions of the American Fisheries Society,* **130**（4）: 583-591.

Pan Y, Cao WX, Xu LP, Yin SR, Bai L. 2007. Process, mechanism, and research method of fish invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology,* **18**（3）: 687-692. [潘勇, 曹文宣, 徐立蒲, 殷守仁, 白璐. 2007. 鱼类入侵的过程、机制及研究方法. 应用生态学报, **18**（3）: 687-692.]

Rong CK, Yue BY. 1997. A preliminary study of the feeding habits of Tianjin *Eperlanus chinensis* Basilewsky at the neonate and infant stage of life. *Journal of Tianjin Agricultural College,* **4**（4）: 11-14. [荣长宽, 岳炳宜. 1997. 天津大银鱼仔鱼和幼鱼食性的初步研究. 天津农学院学报, **4**（4）: 11-14.]

Shen QZ. 1990. In low temperature keep the embryo of *Protosalanx hyalocranius*. *Zoological Research,* **11**（3）: 258. [沈其璋. 1990. 大银鱼胚胎的低温保存. 动物学研究, **11**（3）: 258.]

Svirsky VG, Barabanshchikov EI. 2010. Biological invasions as an element of anthropogenic pressure upon the aquatic biotic communities in Lake Khanka. *Russian Journal of Biological Invasions,* **1**（1）: 21-25.

Tang FJ, Liu W, Wang JL, Xie SG. 2011. Fish composition in Lake Xingkai（Khanka） and Lake Mini-xingkai. *Chinese Journal of Fisheries,* **24**（3）: 40-47. [唐富江, 刘伟, 王继隆, 谢松光. 2011. 兴凯湖与小兴凯湖鱼类组

成及差异分析. 水产学杂志, **24**（3）: 40-47.]

Tang FJ, Liu W, Wang JL, Brown A. 2013. On the occurrence of the clearhead icefish, *Protosalanx hyaloranius* （Salmoniformes: Salangidae）, in the Songhua River, the largest tributary of Amur River. *Journal of Applied Ichthyology,* **29**（1）: 237-238.

Tang ZP, Xie H, Xie YH, Li B, Li XY, Duan KM, Yuan FR, Sun YQ. 2002. Comparative study on the population ecology of Asian smelt （*Hypomesus transpacificus nipponesis*） and large icefish （*Protosalanx hyalocranius*） in Shuifeng Reservoir. *Journal of Lake Sciences,* **14**（2）: 152-158. [唐作鹏, 解涵, 解玉浩, 李勃, 李兴友, 段开明, 袁福荣, 孙亚权. 2002. 水丰水库亚洲公鱼和大银鱼种群生态的比较研究. 湖泊科学, **14**（2）: 152-158.]

Wainwright PC, Richard BA. 1995. Predicting patterns of prey use from morphology of fishes. *Environmental Biology of Fishes,* **44**（1-3）: 97-113.

Wang XL, Xiang JG, Liu JS, Liu M, Wu L, Murphy BR, Xie SG. 2013. Reduced growth and reproductive investment of *Hemiculter leucisculus* （Cyprinidae） in a reservoir with introduced icefish *Neosalanx taihuensis* （Salangidae）. *Environmental Biology of Fishes,* **96**（7）: 895-903.

Wang ZS, Fu CZ, Lei GC. 2002. Biodiversity of Chinese icefishes （Salangidae） and their conserving strategies. *Biodiversity Sciences,* **10**（4）: 416-424. [王忠锁, 傅萃长, 雷光春. 2002. 中国银鱼的生物多样性及其保护对策. 生物多样性, **10**（4）: 416-424.]

Xie YH, Xie H. 1997. Classification, distribution, and population ecology of Salangidae fishes. *Chinese Journal of Fisheries,* **10**（2）: 11-19. [解玉浩, 解涵. 1997. 银鱼科鱼类的分类分布和种群生态. 水产学杂志, **10**（2）: 11-19.]

Zhang JM, He ZH. 1991. Handbook for Natural Resources Investigation on Inland Fisheries. Beijing: Agriculture Press. [张觉民, 何志辉. 1991. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 农业出版社.]

Zhang KX, Zhuang DD, Zhang L, Gao CL, Zhang JY, Xu AZ. 1981. On the *Protosalanx hyalocranius* and its propagation in Hongze Hu. *Journal of Fisheries of China,* **5**（1）: 29-39. [张开翔, 庄大栋, 张立, 高礼存, 张静仪, 徐爱珍. 1981. 洪泽湖所产大银鱼生物学及其增殖的研究. 水产学报, **5**（1）: 29-39.]

Zhu CD. 1985. A preliminary study on growth and feeding habits of icefish in Taihu Lake. *Journal of Fisheries of China,* **9**（3）: 275-287. [朱成德. 1985. 太湖大银鱼生长与食性的初步研究. 水产学报, **9**（3）: 275-287.]